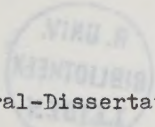


Walter Weis

1960

s der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund u. Kieferkrankheiten
der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz
Direktor: Prof. Dr. Dr. M. Herrmann

ELEKTROMETRISCHE SÄUREWERTMESSUNGEN AN ZAHNÄRZTLICHEN
ZEMENTEN



Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes-Gutenberg-Universität
zu Mainz

vorgelegt von
Walter Weis
Zahnarzt
aus Hostenbach-Saar

1960



INHALTSVERZEICHNIS

Seite

I. EINLEITUNG UND VERZEICHNIS DER ABHANDLUNGEN

II. VERZEICHNIS DER ABHANDLUNGEN

Verzeichnis der Abhandlungen

Referent: Priv. Doz. Dr. Dr. P. Riethe

Korreferent: Professor Dr. J. Kluczka

1. Einleitung

2. Die Abhandlungen

3. Schluss

Verzeichnis der Abhandlungen

1. Die Abhandlungen

2. Die Abhandlungen

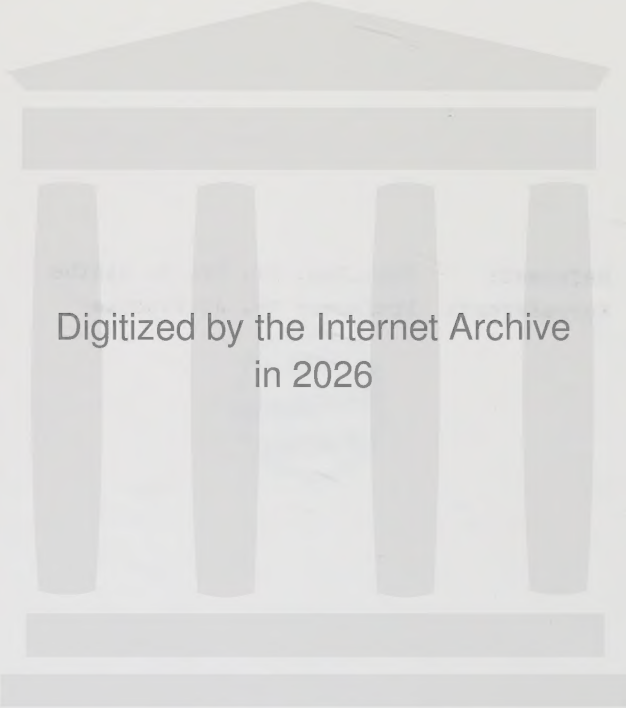
3. Die Abhandlungen

4. Die Abhandlungen

Verzeichnis der Abhandlungen

1. Die Abhandlungen

2. Die Abhandlungen



Digitized by the Internet Archive
in 2026

INHALTSÜBERSICHT

	<u>Seite</u>
I. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	1
II. VERSUCHSANORDNUNG	2
III. VERSUCHSERGEBNISSE	7
Versuchsreihe A: Silikatzemente	
1. Achatit (Vivadent)	7
2. S.S.White	9
3. Syntrex	10
4. Super Syntrex	12
5. Terralux	13
Versuchsreihe B: Phosphatzemente	
1. Tenet (Vivadent)	14
2. Harvard	15
3. Bayer	17
4. de Trey improved	18
Versuchsreihe C: Steinzemente	
1. Keratit (Vivadent)	19
2. Drala-Stahl	20

	<u>Seite</u>
IV. AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE	21
1. Vorbemerkung	21
2. Silikatzemente	24
3. Phosphatzemente	27
4. Steinzemente	30
V. RÜCKBLICK UND BEWERTUNG	31
VI. ANHANG	33
VII. LITERATURVERZEICHNIS	45

EINLEITUNG

Die umfangreiche Literatur über die Schädlichkeit der zahnärztlichen Zemente (vgl. hierzu die zusammenfassende Darstellung von Kleefeld, E. 1951) macht deutlich, wie intensiv die Bemühungen zur Lösung dieser Fragen sind. Es zeigt sich aber auch, wie verschieden, ja wie extrem die Ansichten über die schädigende Komponente auseinandergehen. Generell gelten die Phosphatzemente als pulpenunschädlich, während die Silikatzemente unterschiedlich beurteilt werden. Für eine diesbezügliche Pulpaschädigung werden die physikalischen Eigenschaften der Silikatzemente, die Temperaturerhöhung beim Abbindevorgang, elektrolytische Produkte und die bakterielle Invasion herangezogen, die in der Pulpa entzündliche Reaktionen auslösen sollen.

Von traumatischen und medikamentösen Schädigungen abgesehen, nimmt die Säureschädigung durch ungebundene Phosphorsäure in den Zementen die hervorragendste Stellung ein, die für eine Irritation der Pulpa verantwortlich gemacht wird. Die Mehrzahl der Autoren (M. Apfelstaedt 1906, E. Silbermann 1906, A. Reissner 1906, W. Sachs 1907, A. Masur 1925, H. Chr. Greve 1932 u.a.) sind Verfechter der Säuretheorie. Sie machen die Phosphorsäure - Anrührflüssigkeit der meisten zahnärztlichen Zemente - als schädigendes Agens verantwortlich, andere den Chlorwasserstoff (Abraham 1913) oder auch den Fluorwasserstoff (J. Linka 1934).

Es ist nicht der Sinn dieser Arbeit, die Unterschiedlichkeit verschiedener Auffassungen zu interpretieren. Zum Gegenstand unserer Untersuchung haben wir die Säuretheorie gewählt unter besonderer Berücksichtigung der Größenordnung der Säurewerte, die kurz nach dem Anmischen der Zemente entstehen, d.h. einer Zeit, wo die Säuremenge am größten und die Wirkung

auf das Zahnbein am intensivsten erscheint. Bei Phosphatzementen als Unterfüllung oder zur Fixation von Kronen und Brücken, bei Silikatzementen als Deckfüllung mit und ohne Unterfüllung und bei Steinzementen als permanente Füllung.

In die gleiche Richtung zielende Arbeiten stammen u.a. von H.H. Rebel (1923) und D. Hattyasy (1933), neuere Arbeiten von K. Kellermann und P. Lauven (1950), H. Reich (1951), K.H. Rinne (1953), Hellmüller R. (1954) und K.D. Dietrich (1957), jedoch mit zum Teil unterschiedlichen Untersuchungsmethoden und Folgerungen.

VERSUCHSANORDNUNG

Für die Untersuchungen standen zur Verfügung: 5 Silikatzemente, 4 Phosphatzemente und 2 Steinzemente.

Versuchsreihe A: SILIKATZEMENTE

- I. Achatit (Vivadent, Liechtenstein)
- II. S.S.White new filling porcelain (London)
- III. Syntrex (de Trey, Wiesbaden)
- IV. Super-Syntrex (de Trey, Wiesbaden)
- V. Terralux (Hamburg)

Versuchsreihe B: PHOSPHATZEMENTE

- I. Tenet (Vivadent, Liechtenstein)
- II. Harvard (Berlin)
- III. Bayer (Bayer-Werke, Leverkusen)
- IV. de Trey improved (Schweiz)

Versuchsreihe C: STEINZEMENTE

- I. Keratit (Vivadent, Liechtenstein)
- II. Drala-Stahl-Gitterzement (Deutschland)

Um jedes Material einer Versuchsreihe den gleichen Untersuchungsbedingungen zu unterwerfen, wurden für das Anmischen der Proben die Forderungen der American Dental Association (ADA) an Silikat- und Phosphatzemente zugrunde gelegt. (vom 1.7.1950)

Die ADA-Spezifikation Nr. 9 verlangt für vergleichende Versuche an Silikatzementen eine sogenannte Standardkonsistenz, also ein bestimmtes Pulver-Flüssigkeitsverhältnis. Bei einer Temperatur von 18 - 24 Grad C. und 55 - 75 % relativer Feuchtigkeit wird die Pulvermenge gesucht, die mit 0,4 ml der entsprechenden Flüssigkeit unter Belastung von 2.500 gr (nach 2 Minuten Anrührbeginn) eine Silikatzement-scheibe von 25 ± 1 mm Durchmesser ergibt. Die Mischzeit darf 60 Sekunden nicht überschreiten. Die 60 Sekunden werden mischtechnisch wie folgt aufgeteilt:

1/2 des Pulvers in 15 Sekunden

1/4 des Pulvers in 15 Sekunden

1/4 des Pulvers in 15 Sekunden

Die restlichen 15 Sekunden stehen zur Verfügung, um die Paste bis zur völligen Homogenität durchzuspateln.

Auf Phosphatzemente bezieht sich die ADA-Spezifikation Nr. 8. Hier wird bei 18 - 24 Grad C. und 55 - 75 % relativer Feuchtigkeit die Pulvermenge gesucht, die mit 0,5 ml Phosphatzementflüssigkeit unter Belastung mit 120 gr nach 3 Minuten Anrührbeginn eine Phosphatzementscheibe von 30 ± 1 mm Durchmesser ergibt.

Die Mischtechnik war dabei eine andere:

1/4	des Pulvers in 10 Sekunden
1/4	des Pulvers in 10 Sekunden
1/4	des Pulvers in 10 Sekunden
1/8	des Pulvers in 15 Sekunden
1/16	des Pulvers in 15 Sekunden
1/16	des Pulvers in <u>30 Sekunden</u>

insgesamt: 90 Sekunden

Die Zementpulver wurden mit der zugehörigen Flüssigkeit entsprechend der ADA-Vorschriften angemischt. Abweichungen werden besonders herausgestellt. Die Pastenkörper wurden dann in runde Formen, die zur Bestimmung der Löslichkeit von der ADA vorgeschrieben sind, gegeben. Die ersten Säurewerte gewannen wir bei Silikatzementen durchschnittlich nach 8 Minuten, bei Phosphatzementen nach 12 Minuten, d.h., sobald die Probekörper vom plastischen in einen Zustand übergegangen waren, der Biegebewegungen ohne zu brechen nicht mehr zuließ und somit den Formen entnommen werden konnten.

Als pH-Meter diente uns ein Gerät Marke Polymetron Zürich (WTW-System), dessen Meßgenauigkeit $\pm 0,1$ pH beträgt. Die Meßkette ergibt aus der Potentialdifferenz die aktuelle Azidität einer Lösung, die nach 2 Minuten Einspieldauer direkt abgelesen werden kann. Aus den Ergebnissen läßt sich also nicht ein bestimmter Säureradikal, z.B. PO_4^{---} , Cl^- , F_2^- , sondern lediglich die augenblickliche Wasserstoffionenkonzentration, die die eigentliche Säurewirkung ausmacht, erkennen.

Von jedem Material wurden je 2 Probekörper gefertigt. Von den beiden mit 2 Minuten Abstand angemischten Scheibchen wurde das erste nach dem Hartwerden in ein trockenes, abschließbares Wägegläschen gegeben, das zweite in ein anderes mit 5 ccm doppelt destilliertem Wasser. Es wurde in zunächst kleinen, dann immer größer werdenden Zeitabständen bei Raumtemperatur jeweils der pH-Wert der Oberfläche des trockenen und

der der Lösung des zweiten Blättchens gemessen. Die ermittelten Ergebnisse sind der schnelleren und besseren Übersicht halber in pH-Wert-Zeit-Abhängigkeitskurven dargestellt. Die Standardkonsistenzen bei den einzelnen Fabrikaten weisen, einmal hervorgerufen durch das unterschiedliche Pulver-Flüssigkeitsverhältnis und zum anderen durch ihre physikalischen und chemischen Eigenheiten, beim und kurz nach dem Anrühren Unterschiede in der Plastizität und ihrer Neigung zu verstärkter Pulveraufnahme auf. Das heißt, in praxi sind die meisten Phosphatzemente in Standardkonsistenz für eine Unterfüllung zu flüssig oder klebrig und zur Befestigung von Kronen und Brücken zu steif, während die Silikat- und Steinzemente, Terralux ausgenommen, nur gering unter der von uns normalerweise verwendeten Plastizitätsgröße liegen. Zur Sicherung der Meßergebnisse führten wir Kontrollmessungen durch.

Aus Vergleichsgründen wurden von jedem Material auch Blättchen hergestellt, die wir in sogenannter Gebrauchskonsistenz anmischten. Die Pulvermenge wurde bei konstant bleibender Flüssigkeitsmenge erhöht, bis ein Plastizitätsgrad erreicht wurde, wie er für Unterfüllungen bzw. Deckfüllungen bei uns gebräuchlich ist.

Die Standardkonsistenzen (Stdd.-Kons.) und Gebrauchskonsistenzen (Gebr.-Kons.) sind aus folgender Aufstellung ersichtlich:

	<u>Stdd.-Kons.</u>	<u>Gebr.-Kons.</u>
Achatit	1.550 mg	1.600 mg
S.S.White	1.600 mg	1.650 mg
Syntrex	1.650 mg	1.800 mg
Super Syntr.	1.700 mg	1.900 mg
Terralux	1.100 mg	1.600 mg

pro 0,4 ml Flüssigkeit.

	<u>Stdd.-Kons.</u>	<u>Gebr.-Kons.</u>
Tenet	1.350 mg	1.500 mg
Harvard	1.300 mg	1.500 mg
Bayer	1.050 mg	1.400 mg
De Trey impr.	1.450 mg	1.600 mg

pro 0,5 ml Flüssigkeit.

	<u>Stdd.-Kons.</u>	<u>Gebr.-Kons.</u>
Keratit	1.500 mg	1.600 mg
Drala-Stahl	1.500 mg	1.600 mg

pro 0,4 ml Flüssigkeit.

Zur Meßtechnik ist nachzutragen, daß die trockenen Blättchen zum Zwecke der Messung oberflächlich mit einem Tropfen aqua bidestillata benetzt werden mußten, um die beiden Elektroden des pH-Meters zu verbinden und den elektrochemischen Kreislauf zu schließen, da das verwendete pH-Meter lediglich in wässriger Phase Potentialdifferenzen angeben kann. Die Tatsache, daß Wasser noch während der Abbindezeit mit den Zementen in Berührung kommt, dürfte ein Ansatzpunkt der Kritik sein. Messungen an Probekörpern, die nach dem Anrühren 60 Minuten bei 37 Grad C. und 100 % relativer Feuchtigkeit im Trockenschrank (nach ADA) verbrachten und dann in 25 ccm aqua bidest. gehängt wurden, zeigten bei Silikatzementen ganz geringe, bei Phosphatzementen etwas größere Unterschiede auf (z. B. Achatit nach 75 Minuten im Trockenschrank pH = 5,15 gegenüber 5,35 und 5,25; S.S.White pH = 5,10 gegenüber 5,00 und 5,05.) Diese wurden jedoch akzeptiert, da bei unserer Arbeit das Hauptmerk auf die anfänglichen pH-Werte kurz nach dem Anrühren gelegt ist. Auf die Praxis übertragen, nach der Applikation der Unter- und Deckfüllung. Gerade die Möglichkeit der frühzeitigen Schädigung des Dentins bzw. der Pulpa durch hohe Säurewerte kurz nach dem Einbringen einer entsprechenden Füllung sollte untersucht werden.

Das doppelt destillierte Wasser erreichte pH-Werte zwischen 6,15 und 6,40. Der pH-Wert des Bidestillates stellt für die einzelnen Versuchsreihen die relative Neutralitätsgrenze dar (absoluter Neutralpunkt pH = 7,00). Wird dieser Wert überschritten, so befinden wir uns auf der Alkaleszenzseite.

VERSUCHSERGEBNISSE

Versuchsreihe A: SILIKATZEMENTE

I. A c h a t i t

Bei einer Raumtemperatur von $t = 21,5^{\circ} \text{C}$. und einem pH-Wert des aqua bidest. = 6,30 sind folgende Werte gemessen worden:

Zeit nach	Bl. 1 Stdd.-K.	Bl. 2 Stdd.-K.	Bl. 3 Gebr.-K.	Bl. 4 Stdd.-K.	Bl. 5 Stdd.-K.
pH der Oberflächen			pH der Lösungen		
8 Min.	3,10	3,05	3,25	-	-
12 "	50	42	-	-	-
16 "	4,30	4,15	4,40	-	-
20 "	80	60	60	4,10	4,15
25 "	80	65	5,00	25	28
30 "	90	90	10	28	28
40 "	90	80	25	35	40
50 "	95	80	30	50	46
60 "	5,32	5,05	42	53	55
75 "	32	25	45	58	55
90 "	38	15	30	62	60
2 Std.	35	40	58	68	70
3 "	56	60	-	80	80

Zeit nach	Bl. 1 Stdd.-K.	Bl. 2 Stdd.-K.	Bl. 3 Gebr.-K.	Bl. 4 Stdd.-K.	Bl. 5 Stdd.-K.
	pH der Oberflächen			pH der Lösungen	
4 Std.	5,65	-	-	4,82	-
5 "	12	-	-	95	-
6 "	28	-	-	5,00	-
7 "	40	-	-	05	-
1 Tag	60	5,80	5,68	28	5,20
2 Tagen	75	75	-	50	45
3 "	90	80	75	60	60
4 "	-	-	90	-	-
5 "	-	-	6,05	-	-
6 "	-	6,10	-	-	70
7 "	-	-	00	-	-

Bl. = Blättchen (Probekörper)

Stdd.-K. = Standardkonsistenz

Gebr.-K. = Gebrauchskonsistenz

Zur besseren Übersicht vergleiche Diagramm Abb. 1. (Anhang)

Berücksichtigt man die Fehlergrenze des pH-Meters, so ergibt sich bei den Werten von Blättchen 1 und 2 (Stdd.-K.) sehr gute Übereinstimmung. Auffallende Erscheinungen sind im Diagramm die wellenförmigen Schwankungen der Wasserstoffionenkonzentration, die stoßweisen Säureaustritt an der Oberfläche bedeuten. In ihrer Grundtendenz verlaufen jedoch beide Wertereihen gleichmäßig bis zu einem Höchstwert von $\text{pH} = 6,10$ nach 6 Tagen, also nicht ganz den Wert des Bidestillates erreichend. Anfangs ist bis 30 Minuten nach Anrührbeginn ein pH von 4,90 erreicht, danach verläuft die Neutralisation langsamer. Blättchen 3 (Gebr.-K.) zeigt einen noch rascheren Anstieg und weist bis zur 90. Minute Werte auf, die bis 0,5 pH über den

Werten von Blättchen 1 und 2 liegen, doch dann verlaufen die Kurven gemeinsam.

Die Lösungen der Blättchen 4 und 5 zeigen ganz eindeutig Übereinstimmungen. Diese in Stdd.-Kons. angerührten Proben wurden nach dem Hartwerden nach 8 Minuten je in 5 ccm H₂O bidest. von pH = 6,30 gegeben. Der Säurewert stieg nach 12 Minuten - insgesamt 20 Minuten nach Anrührbeginn - auf pH = 4,10 bzw. 4,15, was auf starke Säurediffusion zurückzuführen ist. Ganz allmählich werden der Lösung Wasserstoffionen entzogen und von den Puffersubstanzen des Blättchens aufgenommen. Die Endwerte der Lösungen erreichen allerdings nicht den pH der Oberflächen.

II. S. S. W h i t e

Raumtemperatur: $t = 22,5^{\circ} \text{C.}$

pH des aqua bidest. = 6,35

Meßergebnisse: vgl. auch Diagramm Abb. 2 (Anhang)

Zeit nach	Bl. 1 Stdd.-K.	Bl. 2 Stdd.-K.	Bl. 3 Gebr.-K.	Bl. 4 Stdd.-K.	Bl. 5 Stdd.-K.
	pH der Oberflächen			pH der Lösungen	
9 Min.	-	3,52	-	-	-
12 "	3,39	-	4,08	-	-
16 "	50	88	55	3,85	4,40
20 "	65	4,60	62	4,00	48
25 "	4,60	70	60	20	52
30 "	60	75	85	38	58
40 "	60	80	90	38	65
50 "	98	90	5,15	45	68

Zeit nach	Bl. 1 Stdd.-K.	Bl. 2 Stdd.-K.	Bl. 3 Gebr.-K.	Bl. 4 Stdd.-K.	Bl. 5 Stdd.-K.
60 Min.	4,98	5,05	5,18	4,45	4,70
75 "	5,05	05	20	50	78
90 "	4,90	23	35	65	78
2 Std.	5,10	20	50	80	88
3 "	35	40	30	88	92
4 "	45	-	60	92	-
5 "	50	-	75	99	-
1 Tag	70	40	95	5,55	5,45
2 Tagen	90	85	80	75	70
4 "	-	-	95	-	-
5 "	6,18	6,00	-	88	80

Hier bietet sich ein ähnliches Bild wie bei Achatit. Rascher Anstieg bis $\text{pH} = 4,75$ und $4,60$ (Achatit $4,90$) nach 30 Minuten der Blättchen 1 und 2. Die Kurve 3 (Blättchen in Gebr.-Kons.) verläuft auch hier über den beiden anderen, bis sie nach 3 Stunden eingeholt wird. Charakteristisch sind auch die Schwankungen. Nach anfänglicher Differenz stimmen nach 90 Minuten die pH -Werte der Lösungen überein, die der Oberflächen später fast erreichend. Sind die Endergebnisse von S.S.White und Achatit auch mit $\text{ca. pH} = 6,00$ gleich, so zeigt das Übersichtsbild bei Achatit doch ein etwas schnelleres Ansteigen des Säurewertes aller drei Oberflächen.

III. S y n t r e x

Raumtemperatur: $t = 22,5^{\circ} \text{C.}$

pH des H_2O bidest. = $6,35$

Meßergebnisse:

Zeit nach	Bl. 1 Stdd.-K.	Bl. 2 Stdd.-K.	Bl. 3 Gebr.-K.	Bl. 4 Stdd.-K.	Bl. 5 Stdd.-K.
	pH der Oberflächen			pH der Lösungen	
12 Min.	2,95	2,95	3,30	-	-
16 "	3,25	3,30	52	-	-
20 "	48	75	85	3,40	3,45
25 "	85	88	4,35	42	48
30 "	96	4,10	45	45	53
40 "	4,05	25	56	58	58
50 "	30	30	85	65	65
60 "	33	48	70	70	73
75 "	65	65	5,10	80	82
90 "	55	70	22	86	90
2 Std.	75	75	28	4,00	95
3 "	70	85	05	18	4,10
4 "	88	5,15	10	22	20
5 "	5,05	-	-	30	-
1 Tag	60	55	40	95	5,00
2 Tagen	-	-	70	-	-
4 "	-	80	85	-	65

vgl. auch Diagramm Abb. 3 (Anhang)

Mit 3,95 und 4,10 (Blättchen 1 und 2) nach 30 Minuten doch erheblich unter den pH-Werten von Achatit und S.S.White liegend, erreicht Syntrex nach 4 Tagen in etwa deren entsprechende Ergebnisse. Auffallend der Verlauf der Kurve 3. Doch die Zahlenwerte der Gebr.-Kons. von Syntrex sind nicht besser als die Werte in Standardkonsistenz von Achatit und S.S.White. Ohne ins Gewicht fallende Differenzen laufen die Kurven der Lösungen ihrem Endwert von pH = 5,65 zu.

IV. Super Syntrex

Raumtemperatur: $t = 21,5^{\circ} \text{C.}$

pH des H_2O bidest. = 6,30

Meßergebnisse: vgl. auch Diagramm Abb. 4 (Anhang)

Zeit nach	Bl. 1 Stdd.-K.	Bl. 2 Gebr.-K.	Bl. 3 Stdd.-K.
	pH der Oberflächen		pH Lösung
12 Min.	3,05	3,18	-
16 "	33	50	-
20 "	60	95	3,45
25 "	4,02	4,25	52
30 "	28	48	52
40 "	60	62	60
50 "	80	40	65
60 "	95	55	75
75 "	95	98	83
90 "	95	5,10	88
2 Std.	5,20	4,98	98
3 "	30	5,25	4,15
4 "	55	-	32
5 "	66	-	43
1 Tag	85	60	5,25
Regen	95	60	63

Super Syntrex zeigt in seinen Säurewerten eine Verbesserung gegenüber Syntrex. Die Kurve des Blättchens 1 gibt den sehr gleichmäßigen Anstieg wieder, der wie bei allen bisher untersuchten Fabrikaten bei ca. pH = 6,00 seinen Höchstpunkt erreicht. Überraschenderweise unterliegt die Gebr.-Kons. stärkeren Schwankung und liegt mit ihrem Endwert noch unter dem pH der Lösung von Blättchen 3.

V. Terralux

Raumtemperatur: $t = 21,5^{\circ} \text{C.}$

pH des H_2O bidest. = 6,15

Meßergebnisse: vgl. auch Diagramm Abb. 5 (Anhang)

Zeit nach	Bl. 1 Stdd.-K.	Bl. 2 Stdd.-K.	Bl. 3 Gebr.-K.	Bl. 4 Stdd.-K.	Bl. 5 Stdd.-K.
pH der Oberflächen			pH der Lösungen		
12 Min.	2,85	2,85	3,18	-	-
16 "	3,50	3,60	4,45	-	-
20 "	80	78	65	3,30	3,28
25 "	90	4,00	96	55	46
30 "	4,20	30	95	62	58
40 "	35	25	5,00	75	73
50 "	46	55	10	90	88
60 "	60	40	10	4,00	4,02
75 "	55	55	20	20	12
90 "	65	69	45	30	25
2 Std.	65	69	30	43	42
3 "	73	75	52	65	59
4 "	75	-	20	75	-
5 "	80	-	05	88	-
1 Tag	5,00	5,15	35	5,00	5,10
2 Tagen	-	-	02	-	-
3 "	40	52	-	55	30
4 "	-	-	15	-	-

Anfänglich noch besser als Syntrex erreichen Blättchen 1 und 2 nur Werte von pH = 5,52 und 5,40 nach 3 Tagen, sogar schon früh vom pH der Lösungen eingeholt. Die Werte von Blättchen 3 liegen allerdings bis nach 4 Stunden zum Teil wesentlich über den Gebr.-Kons.-Werten von Syntrex, um dann bis pH = 5,15 zu fallen. Hierzu ist zu bemerken, daß das Blättchen 3 (Gebr.-K

nach dem Erhärten eine rissige und bröckelige Struktur aufzeigte. Vom Hersteller wird ja auch auf dünneres Anmischen als üblich hingewiesen.

Versuchsreihe B: PHOSPHATZEMENTE

I. T e n e t

Raumtemperatur: $t = 22,5^{\circ} \text{C.}$

pH des H_2O bidest. = 6,30

Meßergebnisse: vgl. auch Diagramm Abb. 6 (Anhang)

Zeit nach	Bl. 1 Stdd.-K.	Bl. 2 Stdd.-K.	Bl. 3 Gebr.-K.	Bl. 4 Stdd.-K.	Bl. 5 Stdd.-K.
	pH der Oberflächen			pH der Lösungen	
6 Min.	-	-	4,30	-	-
10 "	-	-	5,30	-	-
12 "	4,10	4,18	-	-	-
16 "	60	68	85	-	-
20 "	5,35	5,20	6,40	5,03	5,00
25 "	50	00	30	09	02
30 "	82	43	70	15	06
40 "	92	65	70	22	10
50 "	6,12	75	65	28	22
60 "	5,85	73	88	28	32
75 "	99	50	70	35	42
90 "	6,25	68	-	35	35
2 Std.	30	6,03	-	45	45
3 "	25	00	-	55	60
4 "	40	15	-	68	75
5 "	70	-	-	76	-

Zeit nach	Bl. 1 Stdd.-K.	Bl. 2 Stdd.-K.	Bl. 3 Gebr.-K.	Bl. 4 Stdd.-K.	Bl. 5 Stdd.-K.
	pH der Oberflächen			pH der Lösungen	
1 Tag	6,70	6,95	6,95	6,25	6,50
2 Tagen	75	95	65	25	50
3 "	-	-	85	-	-
4 "	-	-	65	-	-
5 "	-	-	72	-	-
7 "	-	-	88	-	-
9 "	-	-	30	-	-
11 "	-	-	55	-	-
21 "	85	7,23	-	83	7,10
22 "	98	12	-	93	20
23 "	-	05	-	-	20
24 "	-	00	-	-	6,80
25 "	-	6,95	-	-	7,00
26 "	-	70	-	-	30
28 "	-	60	-	-	6,90

Bei den Ergebnissen fallen die recht starken Schwankungen (bei pH) bei Blättchen 1 und 2 (Gebr.-Kons.) auf. Nach 2 Stunden haben die Oberflächen fast den relativen Neutralpunkt des aqua bidest. erreicht. Das in Gebrauchskonsistenz angerührte Blättchen 3 hat schon nach 18 Minuten den pH-Wert des Wassers. Auch die Lösungen befinden sich nach 24 Stunden auf der alkalischen Seite.

II. Harvard

Raumtemperatur: $t = 20,5^{\circ} \text{C.}$

pH des H_2O bidest. = 6,15

Meßergebnisse: vgl. auch Diagramm Abb. 7 (Anhang)

Zeit nach	Bl. 1 Stdd.-K.	Bl. 2 Stdd.-K.	Bl. 3 Gebr.-K.	Bl. 4 Stdd.-K.	Bl. 5 Stdd.-K.
--------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

	pH der Oberflächen			pH der Lösungen	
6 Min.	-	-	4,50	-	-
10 "	-	-	70	-	-
16 "	3,95	4,05	5,80	-	-
20 "	4,55	60	6,00	4,30	4,42
25 "	90	89	5,95	42	45
30 "	5,25	5,20	6,10	50	47
40 "	40	25	35	58	53
50 "	50	32	29	65	56
60 "	55	30	18	68	62
75 "	63	45	62	75	66
90 "	69	62	40	80	75
2 Std.	85	88	-	86	83
3 "	93	98	-	95	96
4 "	6,00	6,02	-	5,15	5,12
1 Tag	40	33	85	6,38	6,40
2 Tagen	75	40	90	68	60
3 "	60	55	75	80	45
4 "	15	15	75	00	64
5 "	30	65	88	68	78
7 "	20	40	65	70	55
9 "	-	32	40	-	65
11 "	-	-	45	-	-

Langsamer, aber gleichmäßiger als bei Tenet verläuft der Anstieg der Säurewerte bei Blättchen 1 und 2, die auch erst nach ca. 12 Stunden den Wert des H₂O bidest. erreichen. Blättchen 3 hat diesen Wert schon nach 33 Minuten erreicht und bleibt auch bis nach 2 Tagen weit über den anderen Werten. (Maximale Differenz zeitweise größer als 1 pH).

III. B a y e r

Raumtemperatur: $t = 20^{\circ} \text{C.}$

pH des H_2O bidest. = 6,40

Meßergebnisse: vgl. auch Diagramm Abb. 8 (Anhang)

Zeit nach	Bl. 1 Stdd.-K.	Bl. 2 Gebr.-K.	Bl. 3 Stdd.-K.
	pH der Oberflächen		pH Lösung
16 Min.	-	4,30	-
20 "	-	58	-
25 "	3,60	5,10	-
30 "	95	00	4,50
40 "	4,40	25	50
50 "	70	60	50
60 "	95	65	50
75 "	5,10	92	55
90 "	50	80	59
2 Std.	50	6,40	59
3 "	50	5,90	60
4 "	10	-	63
5 "	18	-	75
1 Tag	45	5,80	5,48
2 Tagen	65	6,05	80
3 "	85	08	82
4 "	6,00	30	6,00
6 "	15	02	12
8 "	33	5,98	00
10 "	46	6,35	30

Da das Scheibchen 1 nach 20 Minuten erst erhärtet war, konnte die 1. Messung nach 25 Minuten erfolgen. Nach einer Woche ! war der relative Neutralpunkt erreicht. Blättchen 2 benötigte dazu 2 Stunden, um aber erst wieder nach 10 Tagen diesen Wert zu erreichen. Die Werte liegen insgesamt erheblich unter denen von Tenet und Harvard.

IV. D e T r e y

Raumtemperatur: $t = 19,5^{\circ} \text{C.}$

pH des H_2O bidest. = 6,35

Meßergebnisse: vgl. auch Diagramm Abb. 9 (Anhang)

Zeit nach	Bl. 1 Stdd.-K.	Bl. 2 Gebr.-K.	Bl. 3 Stdd.-K.
	pH der Oberflächen		pH Lösung
16 Min.	-	4,00	-
20 "	3,85	18	-
25 "	90	80	4,90
30 "	4,25	5,15	5,00
40 "	65	30	00
50 "	92	80	00
60 "	5,18	60	09
75 "	40	65	10
90 "	55	75	12
2 Std.	63	80	20
3 "	70	85	35
4 "	95	-	40
1 Tag	95	6,10	6,08
2 Tagen	80	02	40
3 "	6,10	40	42
5 "	20	15	45
7 "	20	20	60
9 "	15	18	70

Durchweg hat das Blättchen 1 höhere Werte aufzuweisen als Bayer 1, doch der Endwert liegt unter dem pH des H_2O bidest., der lediglich vom pH der Lösung übertroffen wird. Der rasche Anstieg von Kurve 2 (Gebr.-Kons.) findet mit pH = 5,80 nach 50 Minuten einen vorläufigen Höhepunkt, um nach allmählichen Weitersteigen einmalig nach 3 Tagen die relative Neutralitätslinie zu überschreiten.

Versuchsreihe C:

STEINZEMENTE

I. K e r a t i t

Raumtemperatur: $t = 20^{\circ} \text{C.}$

pH des H_2O bidest. = 6,40

Meßergebnisse: vgl. auch Diagramm Abb. 10 (Anhang)

Zeit nach	Bl. 1 Stdd.-K.	Bl. 2 Gebr.-K.	Bl. 3 Stdd.-K.
	pH der Oberflächen		pH Lösung
10 Min.	-	3,80	-
16 "	3,75	4,55	-
20 "	4,30	85	4,25
25 "	69	5,00	33
30 "	95	15	43
40 "	5,19	33	50
50 "	20	28	53
60 "	36	25	60
75 "	52	28	62
90 "	62	38	66
2 Std.	56	58	72
3 "	60	48	76
4 "	59	-	85
1 Tag	60	62	5,28
3 Tagen	85	80	52
4 "	95	92	55
5 "	6,13	95	60
7 "	5,80	6,05	63

Vergleicht man die Kurve 1 und ihre Zahlenwerte mit denen von Achatit derselben Firma, so sind nur geringfügige Differenzen festzustellen. Offensichtlich ist auch hier der schnellere pH-Wert-Anstieg in Kurve 2 (Gebr.-Kons.) bis zur 50. Minute und das einheitliche Zustreben auf ca. $\text{pH} = 6,00$.

II. D r a l a

Raumtemperatur: $t = 19^{\circ} \text{C.}$

pH des H_2O bidest. = 6,33

Meßergebnisse: vgl. auch Diagramm Abb. 11 (Anhang)

Zeit nach	Bl. 1 Stdd.-K.	Bl. 2 Gebr.-K.	Bl. 3 Stdd.-K.
	pH der Oberflächen		pH Lösung
16 Min.	3,35	3,30	-
20 "	45	73	-
25 "	80	88	3,95
30 "	4,15	4,15	4,00
40 "	35	52	02
50 "	70	78	06
60 "	85	80	10
75 "	90	75	15
90 "	5,00	80	20
2 Std.	10	5,00	30
3 "	4,90	35	40
4 "	5,20	-	45
1 Tag	56	40	90
2 Tagen	78	45	5,15
4 "	68	60	42
5 "	75	75	50
6 "	78	95	58
8 "	80	85	65

Wesentlich schlechtere pH-Werte als Keratit charakterisieren Drala-Stahl. Auch hier die Tendenz zu ca. $\text{pH} = 6,00$.

AUSWERTUNG

Um bei der Auswertung der Ergebnisse einen Bezugs- und Vergleichspunkt zu haben, ist es nötig, die Biologie der Pulpa kurz zu streifen. Beim Anlegen einer Kavität zur Aufnahme von Füllungen wird nach dem Beschleifen des Schmelzmantels das Zahnbein freigelegt und verletzt. F. Heuser (1933), H.H. Rebel (1947), J. Csernyei (1948), G. Fischer (1953) u.a. sprechen von einer modifizierten bindegewebigen Dentinwunde. Da eine Regeneration des Epithels (Schmelz) ausgeschlossen ist, hilft sich das Organ durch Bildung sogenannten Sekundärdentins. Durch die mechanische Bearbeitung sind eine Unzahl von Dentinkanälchen eröffnet und damit ihr Inhalt, Odontoblastenfortsätze und nervale Substanzen, abgeschnitten und gequetscht worden.

G. Fischer (1953) sagt zur Kavitätenpräparation: "Man hat das lebende Dentin, in welchem auf kleinstem Raum (70-80.000 auf 1 ccm) lebende Plasmafasern der Kanälchen verlaufen, durch die trockene Hitze geschädigt, bei schwacher Konstitution sogar zerstört, so daß das freigelegte Dentin von der Pulpa aus nicht geschützt werden konnte. Der überstarke Reiz unterbrach die Leitung, das Dentin kann die normale Abwehr in Gestalt einer Plasmamembran auf der Kavitätenfläche nicht bilden. Denn das ausströmende Blutplasma bildet auf der Kavitätenoberfläche eine rasch koagulierende Schicht von fibriniertem Plasma, das erstarrt und eine feine Haut über der gesamten Dentinfläche erzeugt."

Nach G. Fischer wird also die Hartgewebswunde vom Blutplasma durch eine Fibrinmembran als Deckschicht vernarbt, auf die dann ein gewebsfreundliches Füllungsmaterial eingebracht werden kann. Spreter v. Kreudenstein und J. Stüben (1955) stellten in ihren "Dentinstoffwechselstudien" jedoch fest, daß der Eiweißgehalt im Dentinliquor (den G. Fischer Plasma nennt) maximal 3 % beträgt. Das Blutplasma enthält normal 7-8 % Eiweißkörper, die sich zusammensetzen aus Globulinen (60-80 %)

Albuminen (20-40 %) und Fibrin (etwa 4 %). Hierzu schreiben die beiden Autoren: "Der Dentinliquor ist in bezug auf den Eiweißgehalt nicht mit dem Blutserum, noch weniger mit dem Blutplasma zu vergleichen. Er entspricht der Zwischengewebsflüssigkeit, mit der der Dentinliquor auch insofern vergleichbar ist, als beide extravasale Flüssigkeiten sind." Außerdem war 1955 die Frage noch nicht entschieden, ob der Dentinliquor gerinnungsfähig ist.

Wie das Trauma des Bohrens von der Pulpa vertragen wird, ist auch stark abhängig vom Gesamtzustand des Organismus. Die normale Pulpa wird durch die reparativen und regenerativen Fähigkeiten der Odontoblastenschicht (Euler 1948, Rebel 1948, G. Fischer 1953) auch die peripheren Läsionen der Fortsätze überstehen. Nicht immer bleibt die Vitalität bei kariös zerstörten Zähnen und entzündlich veränderten Pulpen nach dieser zusätzlichen Verwundung erhalten. Die in ihrer Widerstandskraft schon reduzierten Pulpen müssen dann zusätzlich noch einen Fremdkörper (Füllung) assimilieren. Die Praxis lehrt, daß die Pulpa in der Mehrzahl der Fälle dem Ansturm der Traumen gewachsen ist. So geben z. B. zwei statistische Aufstellungen (Lorenz 1948, Ketterl 1959) Prozentsätze von 7 und 8 pulpenkranker und pulpentoter Zähne unter Silikatzementfüllungen an. Die 360 von Ketterl klinisch-röntgenologisch kontrollierten Zähne wiesen zu 50 % keine Unterfüllungen auf, was sich in 12 % pulpenkranker oder toter Zähne dokumentierte gegenüber 5 % bei solchen mit Unterfüllung.

Eberly (1934) gibt die Wasserstoffionenkonzentration einer gesunden Pulpa mit $pH = 7,3$ an. Csernyei (1948) fand bei durchschnittlichem pH von 7,44, daß die Pulpa eines der alkalischsten Gewebe des Körpers überhaupt ist. G. Fischer ist der Ansicht, daß Stauungen in der Wurzelpulpa bereits in der Jugend als physiologische Stoffwechselvorgänge einsetzen und während des Lebens anhalten. Mit Beginn der Stauung verändert sich der Mineralstoffwechsel, es kommt zum Kalküberschuß, wo-

durch eine stärkere Alkaleszenz bedingt ist. "Der basische Charakter der Pulpa wird extrem gestaltet. Der pH beträgt 7,5, der des Blutes 7,4. Die stets überschüssigen Kalksalze (Blut- und Gewebekalk) garantieren den vitalen Zustand der Pulpa bis ins hohe Alter, auch bei Parodontosen, nicht aber bei Infektionen von der Karies aus." (G. Fischer). Der kariöse Prozeß verändert das basische Milieu des Dentins in ein saures. Hieraus läßt sich auch die häufige Übereinstimmung der Pulpenveränderungen im histologischen Bild unter tiefen kariösen Prozeßen und unter größeren Silikat- oder Steinementfüllungen erklären.

Die thermische Methode zum Nachweis des Dentinliquors (Kreudenstein, Stüben 1955) sei noch erwähnt. Durch Temperaturwechsel gelang es, bei vitalen Zähnen an deren freigelegter Dentinoberfläche aus den eröffneten Dentinkanälchen Flüssigkeit, den sogenannten Dentinliquor, heraustreten zu lassen, der sich nach den Beobachtungen der Autoren nicht spontan ergießt. Im Dentinvolumen fanden sie 25 % Liquor, also einen recht erheblichen Flüssigkeitsanteil. Das Dentin ist ein saftreiches Hartgewebe, dessen kanalikuläre Struktur für den Transport von Stoffen, seien es Ernährungs-, seien es Giftstoffe, prädestiniert ist.

Aus dem Gesagten ergeben sich im Hinblick auf die Bewertung zwei besonders wichtige Punkte:

1. Das Kanalsystem und der Saftreichtum des Dentins ermöglichen die Diffusion von schädigenden Agentien (Säuren!).
2. Die erhöhte Alkaleszenz der Pulpa ist eine Folge des gedrosselten Stoffwechsels, wodurch sie aber gegenüber einer Änderung des pH-Wertes besonders empfindlich ist.

S i l i k a t z e m e n t e

(vgl. hierzu die einen Überblick über Zusammenhang und Abbindeprozeß der Silikatzemente vermittelnde Darstellung von Effinger A. und Fecht J. 1960).

Manche Firmen propagieren ihre Silikatzemente mit "Auch ohne Unterfüllung absolut unschädlich!", und viele Praktiker folgen diesem "Rat". Hieran anknüpfend, konstruieren wir den Fall einer Frontzahnkavität, die ohne Unterfüllung mit Silikatzeptment versorgt wird. Das plastische Füllmaterial, ein Gemisch von Pulver und Phosphorsäure (sowohl Ortho-, Meta- und Pyrophosphorsäure, als auch primäre Phosphate von Mg, Al und Zn) mit einem Anfangswert von $\text{pH} = 0,6!$, gelangt durch das Stopfen in innigen Kontakt mit der Dentinwunde. Diese, zwar oberflächlich getrocknet, füllt sich erst nach 30 Minuten (R. Richter 1910) wieder mit Gewebsflüssigkeit. Der Erhärtungsprozeß des Silikatzeptmentes verläuft unter Temperaturerhöhung sehr rasch ab. Die Oberfläche der Füllung (Blättchen 1 - 3 der Versuchsreihe A) - in diesem Fall direkt an das Dentin gepreßt - zeigt eine schnelle Erhöhung der pH-Werte bis nach 20 - 30 Minuten, Werten zwischen ca. $\text{pH} = 4,00$ bis $4,90$.

Es ist zweifelhaft, ob nach dem Einbringen des noch plastischen Füllmaterials auf die Dentinwunde, d.h. der Summe der angeschnittenen Dentinkanälchen, auch eine Verbindung zu den Odontoblastenausläufern hergestellt wird, die sich ja oberflächlich durch die Austrocknung etwas zurückgezogen haben. Preßt man jedoch eine frisch angerührte Probe Silikatzeptmentes ganz kurz auf eine Glasunterlage, so sieht man auf ihr einen dünnen Film der Anrührflüssigkeit. Daraus läßt sich schließen, daß die angeschnittenen Odontoblastenfortsätze in den ersten Minuten nach der Applikation der Füllung einen Säureschock überwinden müssen.

"Daß von solchen angeschnittenen Dentinflächen eine direkte Verbindung zur Pulpa besteht, konnte durch Diffusionsversuche, Eintreibungsversuche mit Hilfe des elektrischen Stromes und nicht zuletzt durch den von Spreter v. Kreudenstein

erstmalig eindeutig festgestellten Austritt von Dentinliquor bewiesen werden." (Ketterl W. 1961)

Der Vergleich pH = 7,4 (leicht alkalisch) der Pulpa gegenüber pH weniger als 1 bis 4,90 in den ersten 30 Minuten macht eine erhebliche Potentialdifferenz deutlich. Das Gros der H-Ionen verbraucht zwar der Chemismus der Füllung, doch an den Randgebieten des Dentins kommt es zum Austausch mit dem Dentinliquor, also zur eigentlichen Säurewirkung.

Bereits P. Wustrow (1921) zeigte, "daß millimeterdicke Dentinschichten von Säureteilen durchdrungen werden können. Z.B. kann man noch in Zahnbeinschichten, die weit von Silikatfällungen entfernt liegen, Säureteile nachweisen."

L. Schuberts (1951) Versuche beweisen ebenfalls das Durchdringungsvermögen der Säure.

Nach 3 Stunden stiegen die Säurewerte der Oberflächen auf pH = 4,75 bis 5,50 je nach Fabrikat. Nach 4 bis 5 Tagen wurden immer noch Werte gemessen, die mehr oder weniger weit unterhalb der relativen Neutralitätsgrenze lagen. Kein Präparat erreichte also in dem angegebenen Zeitraum den durchschnittlichen pH von 6,30 des Bidestillates. An Endwerten erreichten:

1. S.S. White	pH = 6,18
2. Achatit	pH = 6,10
3. Sup. Syntrex	pH = 5,95
4. Syntrex	pH = 5,80
5. Terralux	pH = 5,52

Kann man die Maximalwerte der drei Fabrikate Achatit, S.S. White und Super Syntrex unter Berücksichtigung der Fehlergrenze der Apparatur von pH = 0,1 als zu geringe Differenz zum Neutralpunkt (hier pH = 6,30) und damit als tragbar bezeichnen, so muß doch der tagelange Zeitraum Berücksichtigung finden, in dem bei niedrigen pH-Werten dem frischgefüllten Zahn irreversible Schäden zugefügt werden können. Die Phosphorsäure gehört zwar zu den chemisch schwachen Säuren, doch ihre Giftigkeit den Geweben gegenüber zeigt sie

durch Nekrosenbildung (P. Wustrow 1922). Zieht man nun wieder die Statistik von W. Ketterl (1959) heran, so ergibt sich, daß unter den kontrollierten Silikatfüllungen ohne Unterfüllung die erkrankten Zähne zu 95 % wesentlich herabgesetzte Vitalität oder Pulpengränzen aufwiesen. Diese Untersuchungen sind zwar kein unbedingt stichhaltiger Beweis, daß die Säure des Silikatzementes den Pulpentod verursacht, doch die Wahrscheinlichkeit, daß der hohe H-Ionenkonzentrationsunterschied zu Schädigungen führt, ist sehr groß. Die Schwierigkeit, einen Beweis durch einen biologischen Versuch zu liefern, liegt darin, daß man nach Säureeinwirkung dem histologischen Bild nicht hundertprozentig entnehmen kann, ob die degenerativen Vorgänge ex acido stammen und nicht schon vorher bestanden haben. Bekanntlich können junge, völlig intakte Zähne schon atrophische Pulpen enthalten (Vogelgesang 1922, D. Hattysy 1933). So schreibt S. Palazzi (1922 u. 1923) der Säurewirkung zunächst partielle, dann totale Hyperaemie mit Hämorrhagien und infiltrativen Herden zu.

P. Wustrow (1922) bezeichnet kalkige Entartung der Pulpa und fettige Degeneration der Pulpenerven als typische Veränderung unter Silikatzementfüllungen.

H.H. Rebels Versuche (1923) zeigten unter Zement "deutliche Gefäßerweiterung, kapillare Blutung geringen Grades und vereinzelt stärker ausgedehnte Vakuolisierung der Odontoblastenschicht und beginnende seröse Durchtränkung."

H. Hennings pathol.-histologische Pulpenuntersuchungen (1954) zeigen eindeutig, daß die Frühschädigungen unter Silikat- und Steinzementfüllungen sich zwischen Entzündungszuständen bis zur beginnenden Verödung bewegen, zumal die Irritationen sehr schnell einsetzen. Henning kommt zu dem Schluß, daß "jede plastische Füllung einen Reizzustand in der Zahnpulpa setzt. Doch scheinen die Reizzustände bei den Phosphatzementen reversibel zu sein, bei den Silikat- und Steinzementen dagegen nicht."

L. Schubert (1951) sucht die Noxe in der Silikatzementflüssig-

keit. Seine Untersuchungen sind besonders wertvoll, weil sie auch histologisch überprüft wurden. Dabei ergaben sich schwere Schädigungen bis zur Nekrose.

Aus den Untersuchungen erhellt auch, daß die Säurewerte abhängig sind von der Konsistenz der angemischten Proben. So weisen die in Gebrauchskonsistenz (mehr Pulver auf 0,4 ml Flüssigkeit) hergestellten Probekörper eine schnellere Abbindung mit durchweg zum Teil erheblich höheren pH-Werten auf, jedoch stellen letztlich sämtliche Blättchenoberflächen sich nach mehreren Tagen auf ein pH von ca. 6,00 ein. Die 5 ccm H₂O bidest. mit Durchschnitts-pH von 6,30 zeigen wenige Minuten nach Aufnahme des gerade erhärteten Blättchens eine Azidität von pH = 3,30 bis 4,10 je nach Fabrikat. Anfangs beträchtlich unter den Werten der Oberflächen liegend werden die H-Ionen ganz allmählich gebunden, bis die Lösung sich auch auf pH = 6,00 eingestellt hat. Bei den bereits erwähnten Messungen an Probekörpern, die 60 Minuten nach dem Anmischen bei 37 ° C. und 100 % relativer Feuchtigkeit im Trockenschrank (nach ADA) aufbewahrt wurden, ergab sich außer geringen Differenzen im Anfangsteil der Kurven die Feststellung, daß sich auch hier das pH auf ca. 6,00 einstellte. Diese Tatsachen lassen folgern, daß es sich bei den Silikatzementen um einen Puffer von pH = 6,00 handelt. Das bedeutet, daß durch Silikatzementfüllungen ohne isolierende Zwischenschicht die Pulpa ständig irritiert wird, da ein Wasserstoffionenkonzentrationsgefälle von 1,00 bis 1,4 pH besteht.

Phosphatzemente

Zum Schutz der Pulpa wird die historische Unterfüllung aus Phosphatzement verwendet. In den kleinen und seichten Kavitäten der Frontzähne ist eine Applikation oft recht schwierig, so daß viele Praktiker eine Unterfüllung weglassen, zum Teil

auch im guten Glauben auf die Versicherungen der Firmen. Oder aber sie gebrauchen eine lackartige Unterfüllung. Doch die zahlreichen, im Handel befindlichen Lacke, wie "Adhäsium", "Antac", "Imprägnol", "Obturasol", "Tutol", haben sich bisher noch nicht als zuverlässig erwiesen. (Vgl. hierzu Rinne 1953). Risse und Sprünge beim Erstarren heben die beabsichtigte Wirkung auf. Auf die Besprechung der genauen Zusammensetzung der Zemente kann verzichtet werden, da sie teils bekannt und teils gehütetes Geheimnis der Herstellerfirmen ist. (Zusammensetzung und Abbindeprozeß s. Falck-Weikart 1959). Die verschiedenen schnell härtenden Phosphatzemente entstehen durch prozentual verschiedene Zusätze von Basen und Wasser zur Zementflüssigkeit (Dolder 1936). Der Abbindevorgang ist auch hier nicht genau bekannt.

"Es mutet zunächst merkwürdig an, daß die Säure der Silikatzemente schädlich, die der Phosphatzemente dagegen unschädlich sein soll. Dieser zunächst scheinbare Widerspruch wird auch dann nicht ohne weiteres verständlich, wenn man hört, daß man sogar als Schutz gegen die Wirkung der Silikatzemente Unterfüllungen aus Phosphatzement empfiehlt. Darum mag gleich auf einen grundlegenden Unterschied im Verhalten dieser Füllungsmaterialien hingewiesen werden. Während Phosphatzemente nach wenigen Minuten abgebunden sind, brauchen Silikatzemente ebenso viel und noch mehr Tage, bis ein so stabiler Zustand erreicht ist, daß keine Abgabe von schädigenden Bestandteilen an die Umgebung mehr statthat." (Falck-Weikart 1959).

Zum Befestigen von Inlays, Kronen und Brücken benutzen wir dünnsteigiges gerührtes Zement, ein Zement also mit einem erheblichen Überschuß an Phosphorsäure. Diese Konsistenz dürfte in etwa der Standardkonsistenz von Bayer und de Trey entsprechen, während Harvard und Tenet etwas steifer waren. Bei den pH-Zeit-Abhängigkeitskurven fallen die steil ansteigenden Anfangsteile bei den Blätchen 1 und 2 von Harvard und Tenet auf (Harvard nach 30 Minuten $\text{pH} = 5,25$; Tenet zur gleichen Zeit $\text{pH} = 5,50$), während de Trey und Bayer Werte wie die Silikatzemente zur vergleichbaren Zeit erreichen. Bei diesem

ungünstigen Pulver-Flüssigkeitsverhältnis wird es verständlich, wenn auch hier, wie bei den Silikatzementen, den sauren Substanzen Gelegenheit gegeben wird, auf das Dentin einzuwirken. Nach drei Stunden liegen Tenet und Harvard in direkter Nähe des relativen Neutralpunktes, während de Trey und Bayer pH = 5,50 erreicht haben. Nach 24 Stunden befinden sich sämtliche Blättchen (die Lösungen einschließlich) von Harvard und Tenet auf der Alkaleszenzseite, die von Bayer und de Trey erst nach einer Woche.

Zu berücksichtigen ist, daß nur die beiden letzteren Materialien etwa die dünnteigige Konsistenz zum Befestigen von Kronen und Brücken aufwiesen. Die Erkenntnis, daß die in ihren Werten am niedrigsten liegenden Phosphatzemente gerade noch denen des besten Silikatzementes entsprechen, zeigt auch hier die Gefahr der Pulpenschädigung in den ersten Stunden nach der Fixation von Kronen und Inlays.

"Die Annahme, daß Phosphatzemente die Pulpa nicht schädigen, hat sich als falsch erwiesen. Stets kommt es zur Pulpairritation, die um so heftiger ist, je dünner die Dentinzwischenschicht ist und je dünner der Zement angerührt wurde." (Effinger, Fecht, Eichner 1960). Daß trotzdem bei richtiger Indikation und Stumpf-vorbereitung klinisch fast keine Beschwerden vorgebracht werden, dürfte durch die meist nur wenige Zehntelmillimeter dicke Phosphatzementschicht bedingt sein und die damit verbundene geringe Säuremenge, die auf das Dentin einwirken kann.

Die Proben der Versuchsreihe B, wie wir in Gebrauchskonsistenz anmischten, also für Unterfüllungen geeignet in ihrer Plastizität, zeigten in allen Fällen wesentlich bessere Säurewerte auf. Die Oberfläche von Tenet ist nach 18 Minuten ! schon alkalisch und strebt mit geringen Schwankungen pH = 7,00 zu. Ähnlich gute Werte lieferte Harvard, das nach 30 Minuten den pH des Bidestillates erreicht und sich anschließend gegen den absoluten Neutralpunkt bewegt. Daraus ergibt sich mit Sicherheit, daß beide Präparate spätestens nach 30 Minuten vollkommen unschädlich gegenüber der Pulpa sind. Die Zemente vermögen sogar H-Ionen aus dem H₂O bidest. zu binden, was sich an darüberliegenden pH-Werten bis pH = 7,30 dokumentiert. Damit

würde Preisseckers (1937) Ansicht bestätigt, daß Phosphatzementfüllungen geeignet seien, "freie Säure aus der Silikatfüllung aufzunehmen und abzubinden."

Die beiden anderen Fabrikate erreichen diese günstigen Werte bei weitem nicht. Das ermahnt uns, auch in der Praxis die Wahl unserer zahnärztlichen Materialien sorgsam zu tätigen und zu überprüfen.

Steinzemente

Der Vollständigkeit halber wurden in die Untersuchungen noch zwei Steinzemente einbezogen, die bekanntlich ein Gemisch von Silikat- und Phosphatzement darstellen. Man hoffte dadurch, beider gute Eigenschaften zu koppeln und den schädigenden Einfluß abzuschwächen.

Schon aus den Kurven der Versuchsreihe C erkennt man die starke Verwandtschaft zu den Silikatzementen. Die prozentuale Zusammensetzung (Verhältnis von Phosphat- zu Silikatzement) zeigt auch das erdrückende Übergewicht der Eigenschaften des Silikatzementes, nicht nur die gleichen Anrührbestimmungen. Ausserdem weist Keratit im Vergleich zu Achatit (beides Produkte derselben Firma) eine fast genaue Übereinstimmung im Kurvenverlauf auf.

Drala-Stahl ist anfänglich bedeutend saurer als Keratit, doch finden sich beide Säuren nach Tagen gemeinsam auf $\text{pH} = 6,00$, analog den Silikatzementen. Erstaunlich ist auch die Tatsache, daß bei beiden Materialien die Gebrauchskonsistenzen nur unwesentlich in ihren Werten von der Standardkonsistenz abweichen.

Da nun Steinzement vorwiegend im Molarenggebiet verwendet wird und "selbstverständlich" ohne Unterfüllung, muß man hier die gleichen Folgerungen ziehen, wie bei den reinen Silikatzementen, die auch ohne Unterfüllung appliziert werden, Was die

Säurewerte betrifft, sind die Steinzemente den Silikatzementen gleichzusetzen, woraus sich die Forderung nach Schutz der Pulpa wieder ergibt.

RÜCKBLICK UND BEWERTUNG

Unsere Untersuchungen ergeben zusammengefaßt folgende wichtigen Momente:

1. Die Maximalwerte aller Silikatzemente liegen bei ca. pH = 6,00.
2. Es dokumentierten sich unterschiedlich hohe Säurewerte bei den einzelnen Fabrikaten.
(S.S. White pH = 6,18 und Terralux pH = 5,52)
3. Nach einer Woche ist der Abbindevorgang als beendet zu betrachten.
4. Das Anmischverhältnis (Pulver : Flüssigkeit) steht in direkter Beziehung zu den Säurewerten.
5. Die Silikatzemente stellen gepufferte Systeme dar, deren pH 6,00 beträgt.
6. Die Steinzemente sind den Silikatzementen, was die Säure anbetrifft, gleichzustellen.
7. Gute Phosphatzemente dürfen als unschädlich gelten.
8. Die Möglichkeit einer Pulpaschädigung durch Säure besteht.

Die Untersuchungen ergeben zwar klare Forderungen (Unterfüllung), doch die Säure in den zahnärztlichen Zementen ist nur ein möglicher Faktor, der zur Devitalisierung des Zahnes führen kann. Außerdem ist eine Schädigung möglich durch fal-

sche Diagnosestellung, mangelhafte Exkavation, unsachgemäße Anrühr- und Fülltechnik, schlechte Konstitution der Pulpa oder durch spezifische Wirkung des Zementes. Der Verfasser ist der Auffassung, daß meistens eine Kombination der genannten Faktoren zu Schädigungen führt.

In Anbetracht der Schädigungen, die als Folge einer Devitalisierung des Zahnes auftreten können, ist die Erhaltung der Pulpa die vordringlichste Aufgabe der konservierenden Zahnheilkunde. So ist, wie die Arbeit aufzeigt, Schädigung und Pulpenschutz ein Problem, das einerseits aus der Wichtigkeit der Vitalerhaltung der Pulpa, andererseits aus der Schwierigkeit ihrer Durchführbarkeit resultiert. Im Hinblick auf dieses Ziel kann man unseren zahnärztlichen Zementen, was die schädigende Noxe angeht, gar nicht genug Bedeutung beimessen.

A N H A N G

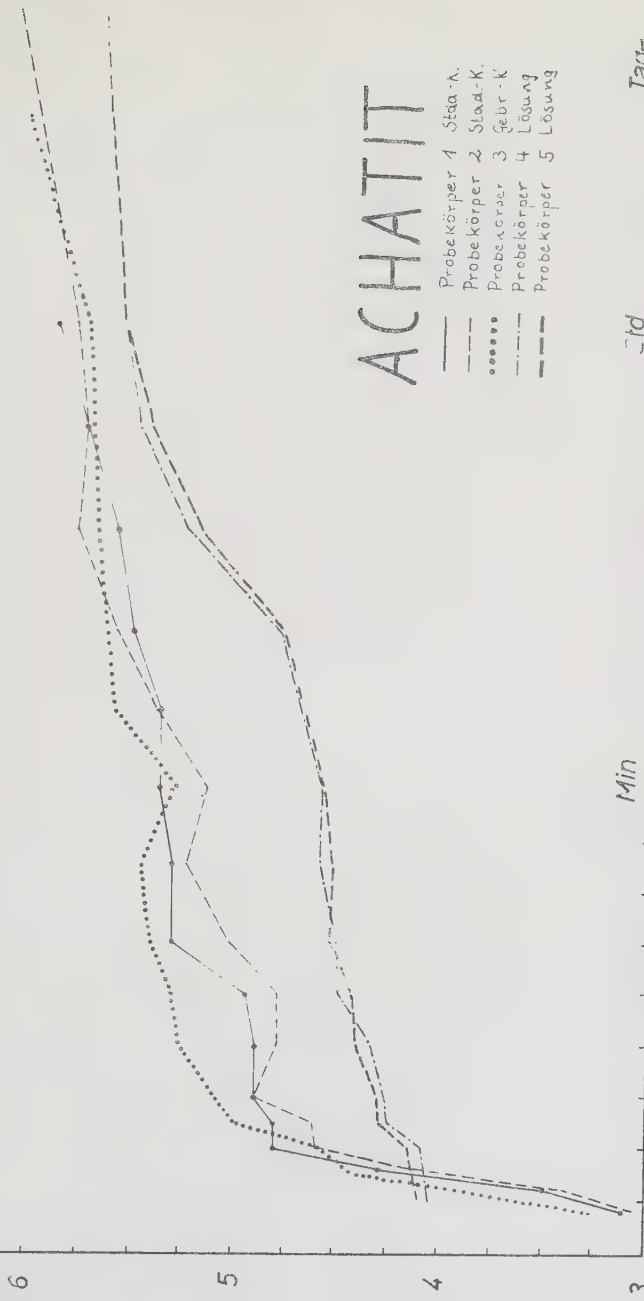
pH des H₂O bidest.

ACHATIT

- Probekörper 1 Staa.-K.
- - - Probekörper 2 Staa.-K.
- Probekörper 3 Gebr.-K.
- · - · - Probekörper 4 Lösung
- - - Probekörper 5 Lösung

Zeit Min Tage

30 90 24 48 72 5 4 3 2 1



pH des H₂O bidest.

S.S. WHITE

- Probe 1 Stax
- Probe 2 " "
- Probe 3 geon. A
- Probe 4 Lösung
- Probe 5 " "

Min.

Tem.

Std.

Zeit

30

60

90

2

3

24

48

6

5

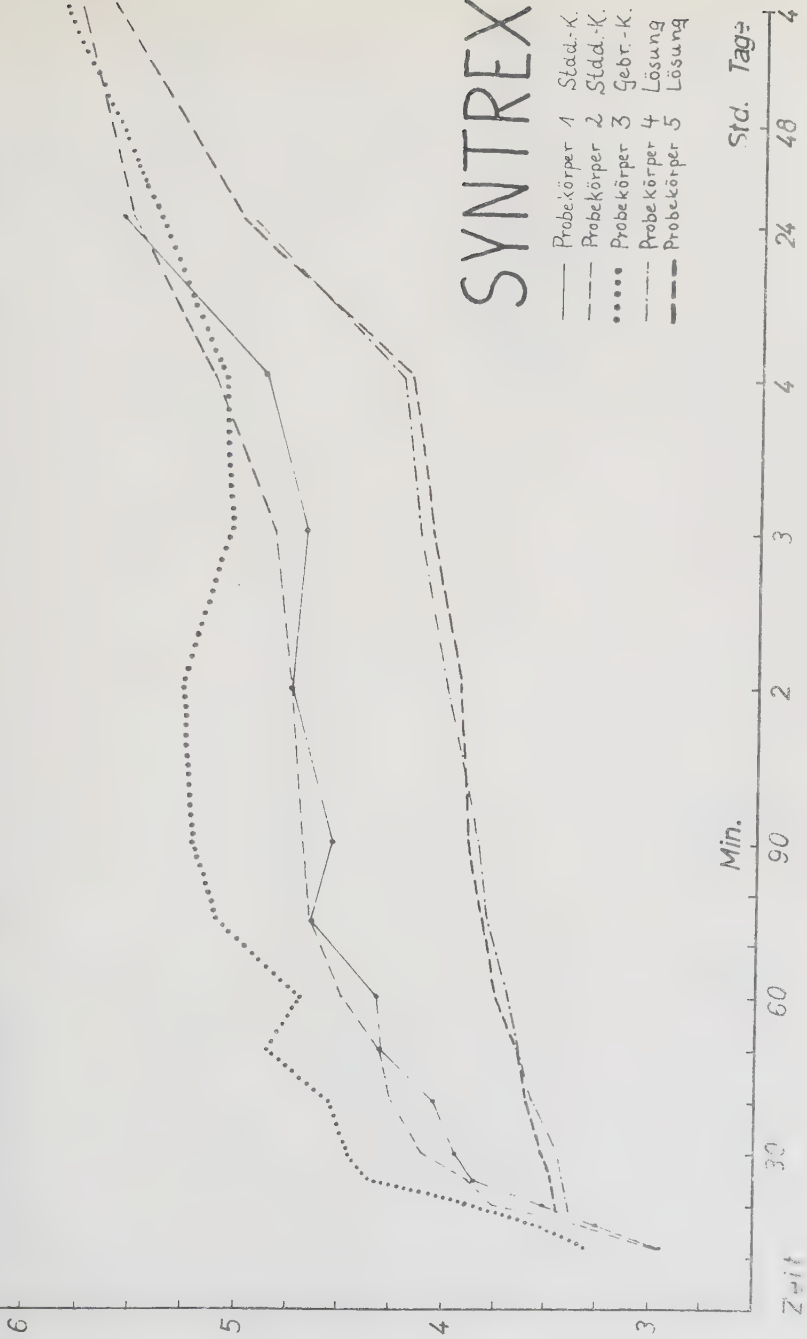
4

3

pH des H₂O bidest.

SYNTREX

- Probekörper 1
- - - - - Probekörper 2
- Probekörper 3
- · - · - · - Probekörper 4
- - - - - Probekörper 5
- Lösung



Zeit Min. Std. Tage

pH des H₂O biquest.

6

5

4

3

Zeit

30

60

90

2

3

4

Min.

Std.

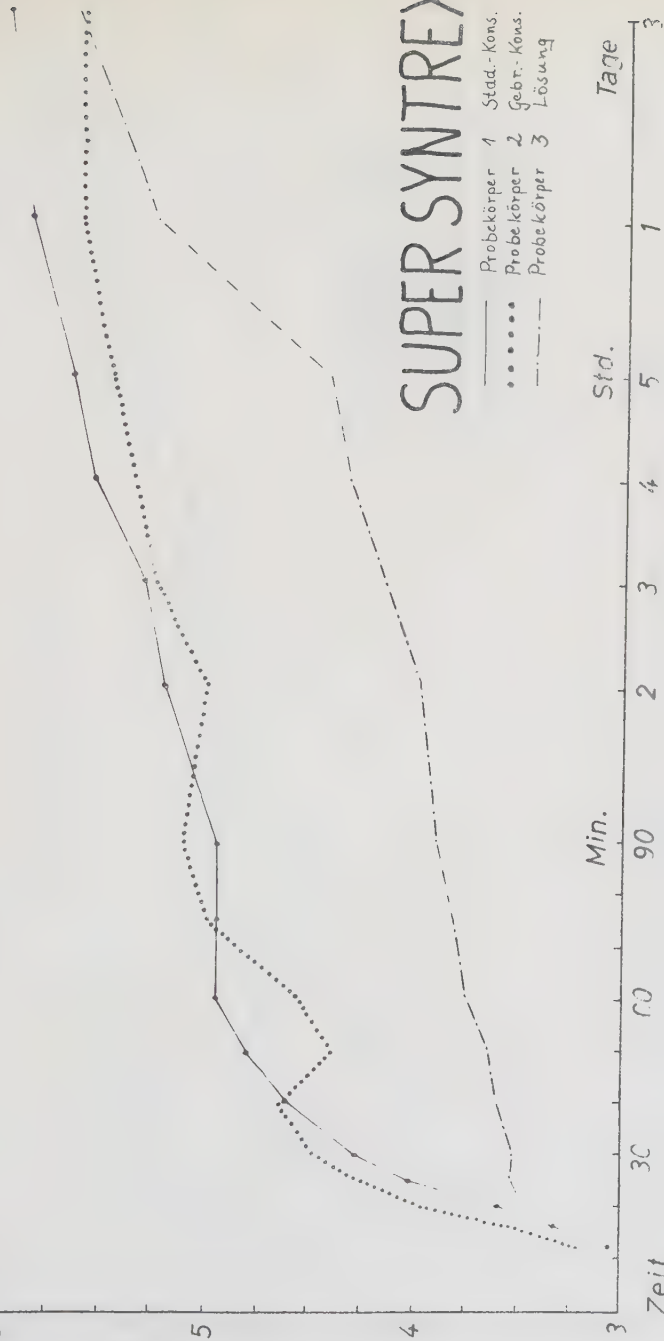
Tage

3

1

SUPER SYNTREX

- Probekörper 1
- Probekörper 2
- - - - - Probekörper 3
- Std.-Kons.
- Gebr.-Kons.
- Lösung

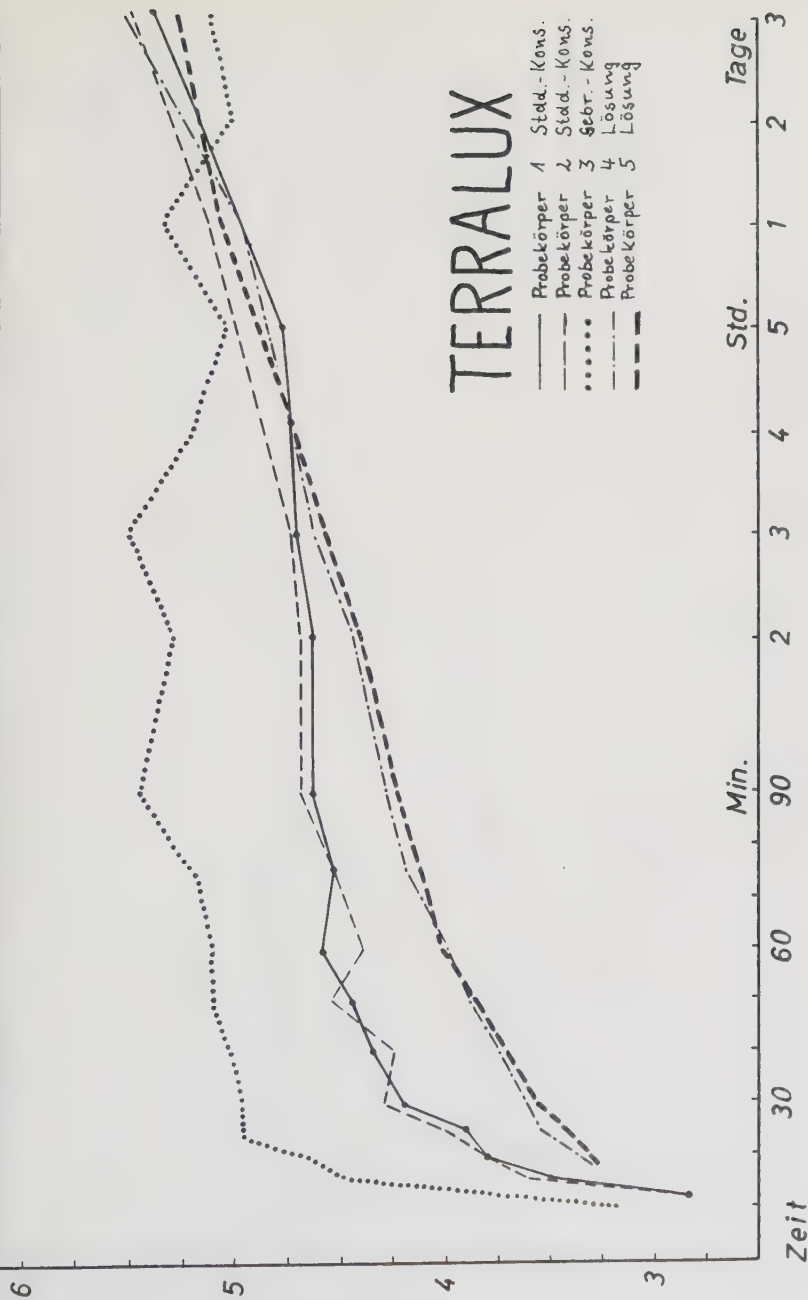




pH des H_2O bidest.

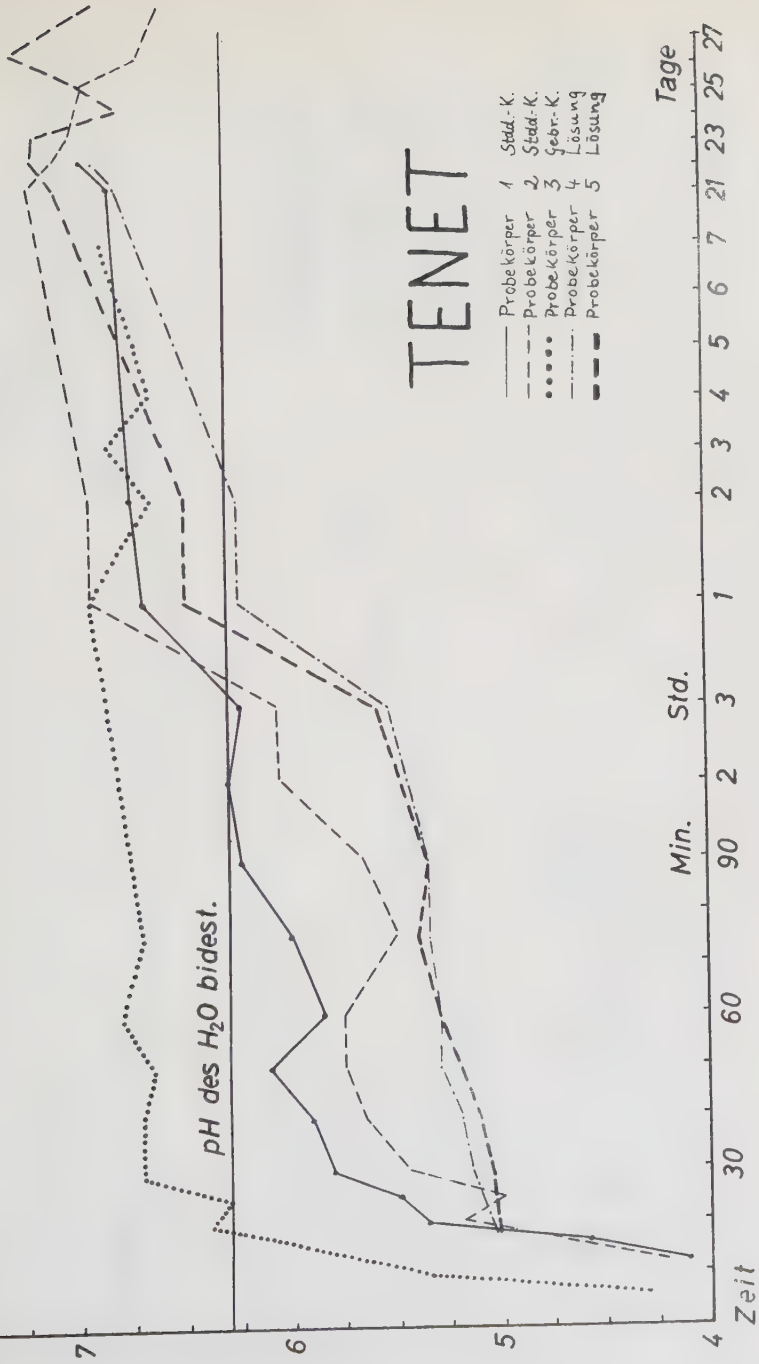
TERRALUX

- | | | |
|-----------|---------------|-------------|
| — | Probekörper 1 | Std.-Kons. |
| - - - | Probekörper 2 | Std.-Kons. |
| | Probekörper 3 | Gebr.-Kons. |
| - . - . - | Probekörper 4 | Lösung |
| - - - | Probekörper 5 | Lösung |

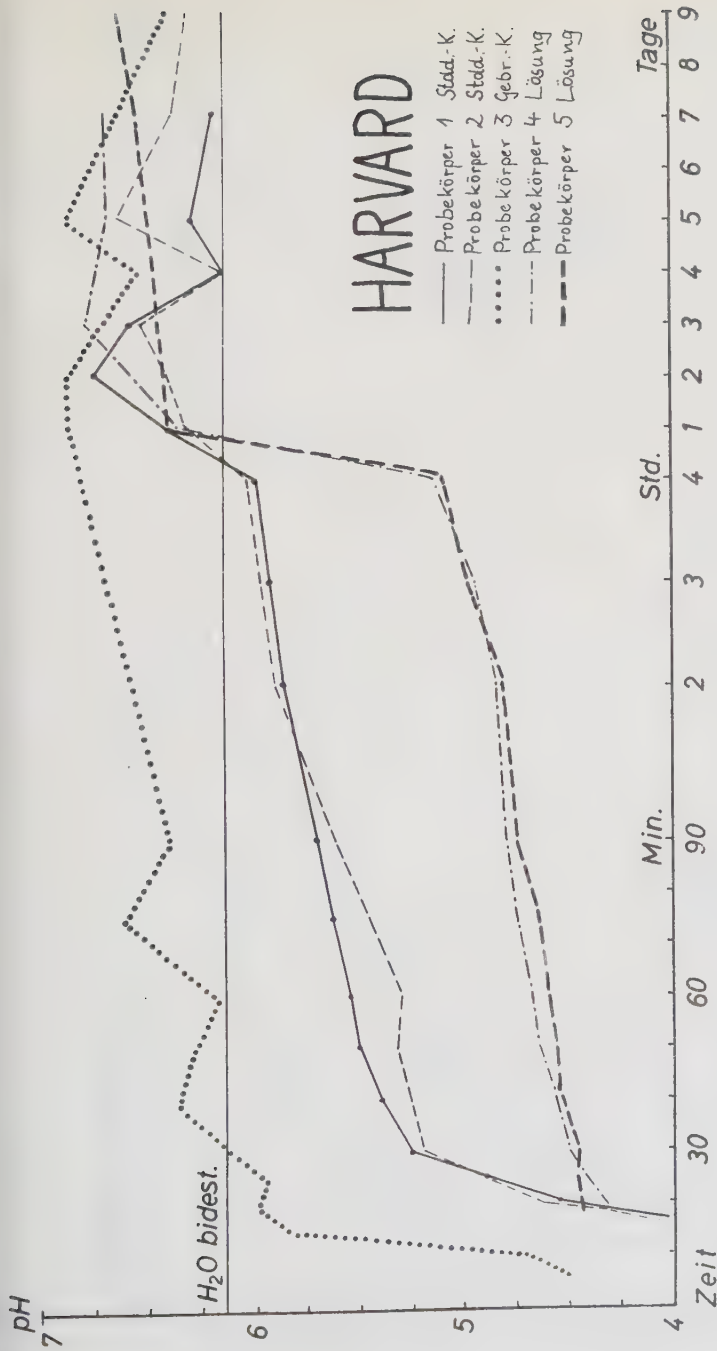




TENET







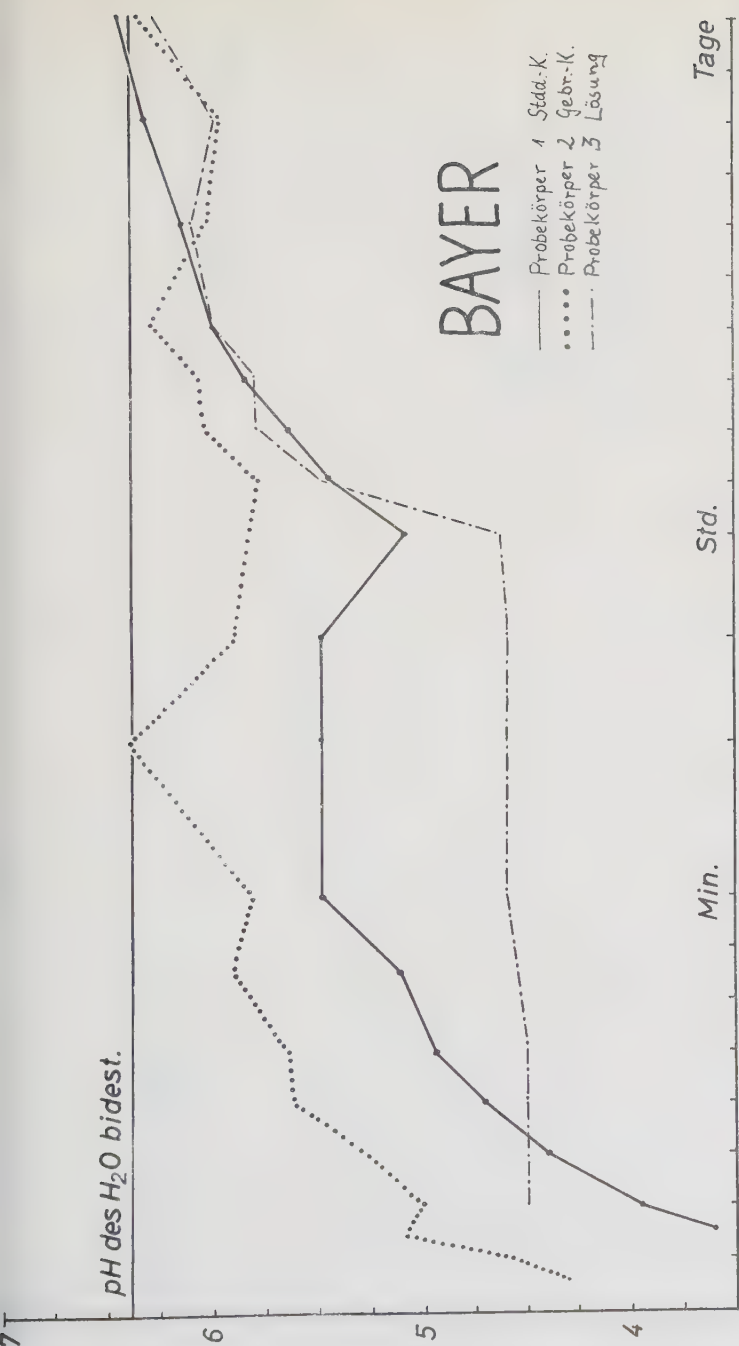


pH des H_2O bidest.

BAYER

- Probekörper 1 Std.-K.
- Probekörper 2 Gebr.-K.
- .-.- Probekörper 3 Lösung

Zeit 30 60 90 Min. 1 2 3 4 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Tage



pH

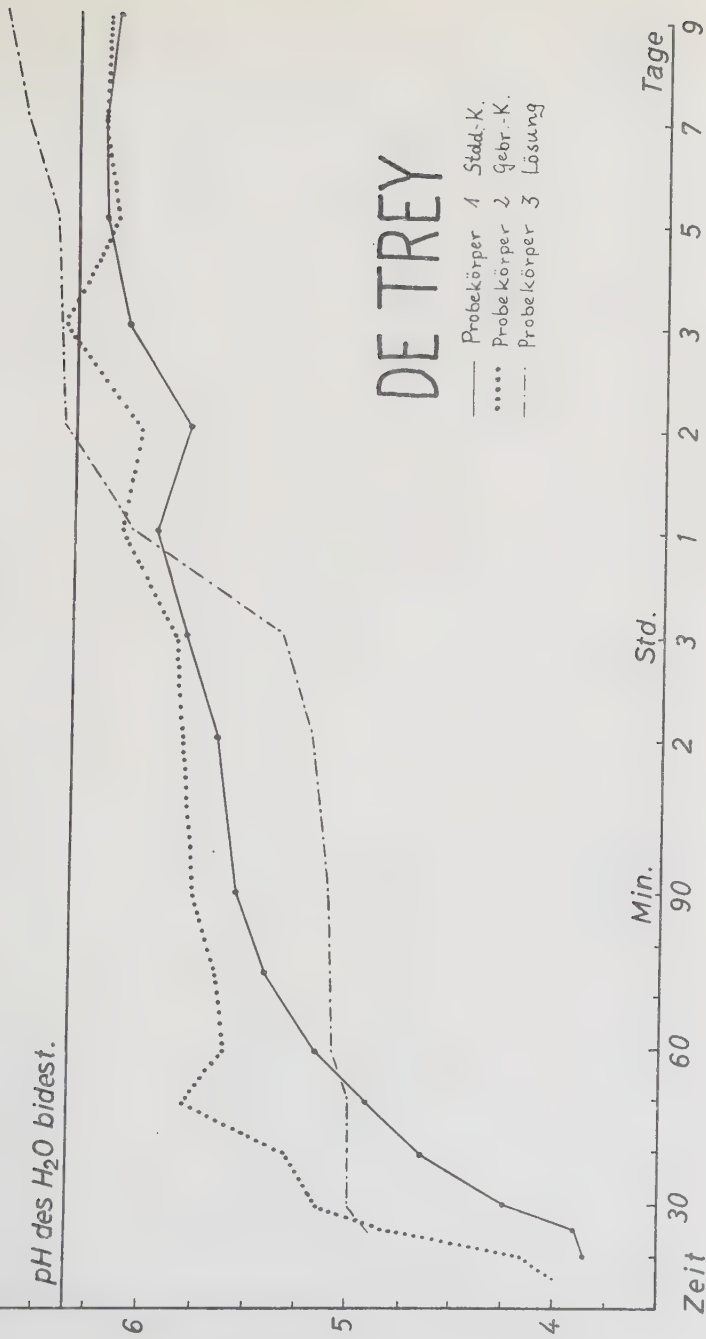
pH des H₂O bidest.

DETREY

— Probekörper 1 Std.-K.
..... Probekörper 2 Gebr.-K.
- - - - - Probekörper 3 Lösung

Min. Std. Tage

Zeit 30 60 90 2 3 1 2 3 5 7 9

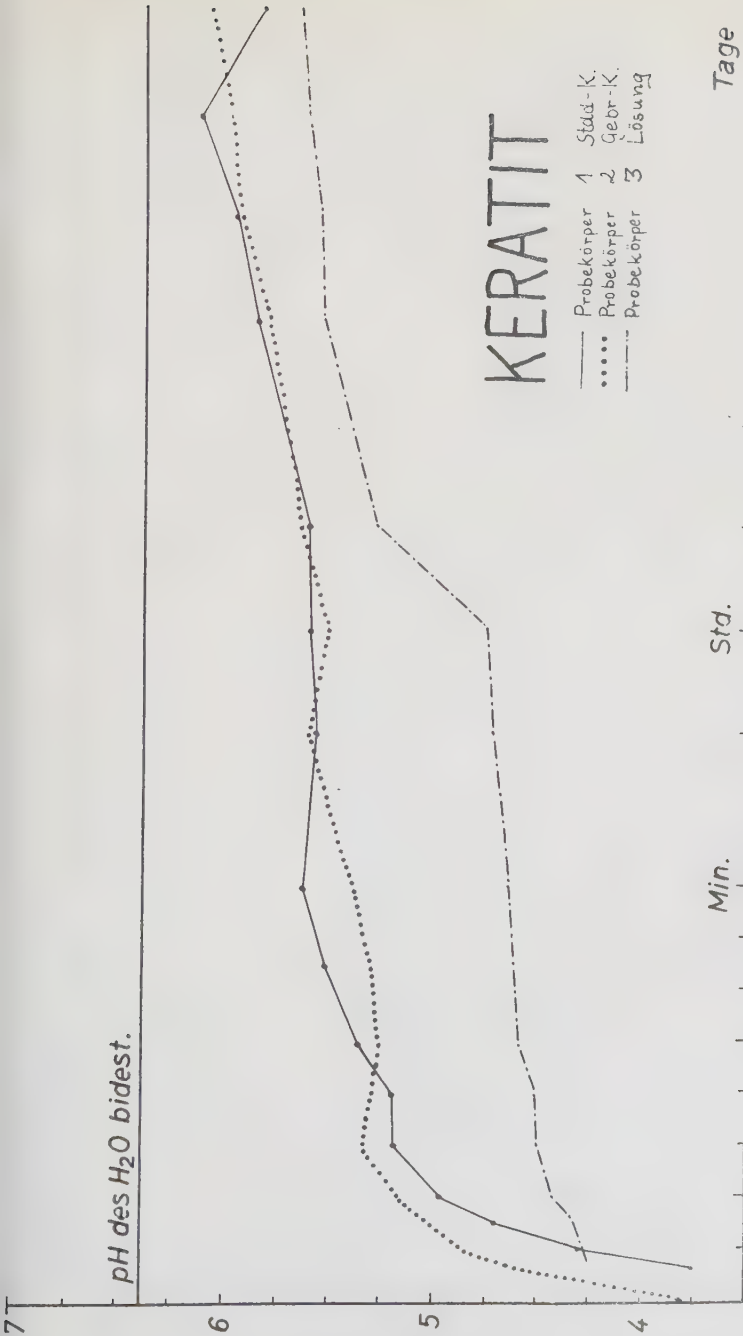


pH des H_2O bidest.

KERATIT

- Probekörper 1 Std.-K.
..... Probekörper 2 Gebr.-K.
- - - - - Probekörper 3 Lösung

Zeit 30 60 90 Min. 2 3 Std. 1 2 3 4 5 7 Tage



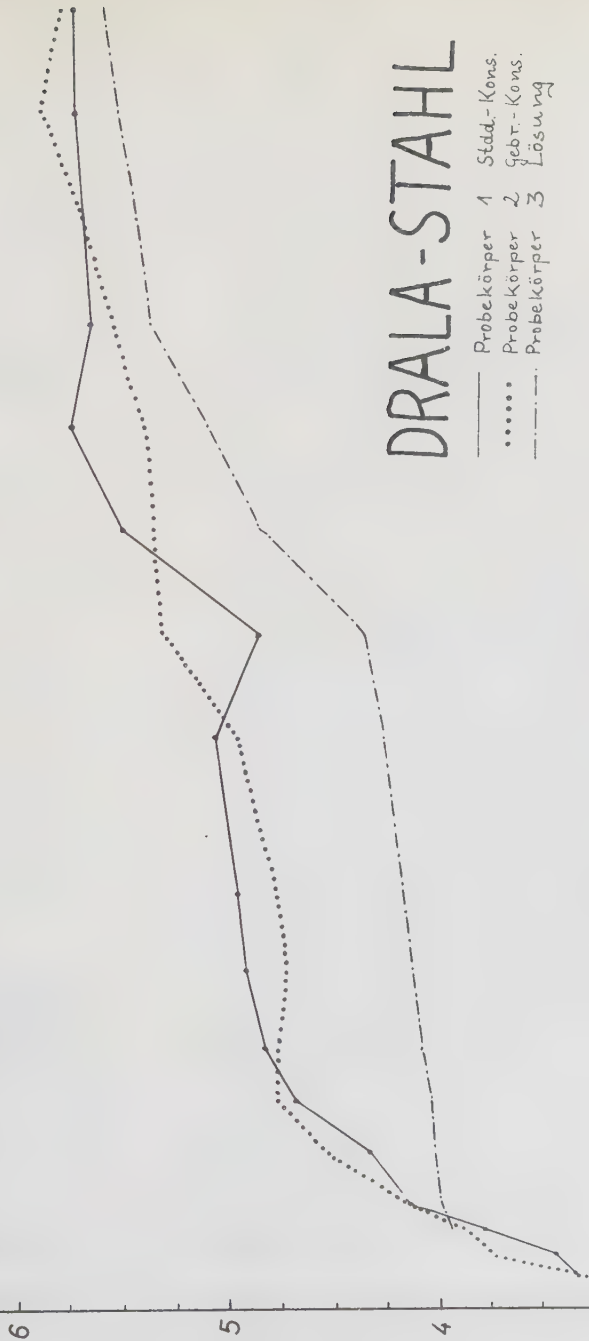
pH des H_2O bidest.

DRALA-STAHl

- Probekörper 1
 - Probekörper 2
 - - - - - Probekörper 3
- 1 Std.-Kons.
2 gebt.-Kons.
3 Lösung

Min. Std. Tag

Zeit 30 60 90 2 3 4 5 6 8



LITERATURVERZEICHNIS

1. Abraham Pulpentod unter Silikatfüllungen.
Dtsch. Mschr. Zahnhlk. 31; 532 (1913)
2. Apfelstaedt M. Nochmals Porzellanzement.
Dtsch. Zahnärztl. Wschr. 9; 1031 (1906)
3. Cserneyei Die Zahnpulpa und die Zemente.
Dtsch. Zahnärztl. Zschr. 3; 929 (1948)
4. Dietrich K.D. Vergleichende experimentelle Untersuchun-
gen auf Änderung der Wasserstoffkonzentra-
tion beim Abbindeprozeß und chemische Wi-
derstandsfähigkeit an gebräuchlichen deut-
schen Zahnzementen.
Med. Inaug.-Diss. Halle-Wittenberg 1957
5. Dolder E. Silikatzementfüllung und Zahnpulpa.
Dtsch. Zahnärztl. Wschr. 39; 733 (1936)
6. Eberly J. Development of a Silicate Cement Tending
to Eliminate Pulp Irritation.
Dent. Cosmos 419 (1934)
7. Effinger A. Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und
Fecht J. ihre Verarbeitung.
Eichner K. Berlin 1960
8. Euler H. Die Karies-Ätiologie.
München 1948
9. Falck K. Werkstoffkunde für Zahnärzte.
Weikart P. München 1959
10. Fischer G. Normale und pathologische Biologie des
Zahnsystems.
Berlin, München 1953

11. Greve H.Chr. Beitrag zum Absterben der Pulpa unter
 Silikatzementfüllungen.
 Dtsch. Zahnärztl. Wschr. 35; 805 (1932)
12. Hattyasy D. Pulpenveränderungen unter Zementen und
 deren praktische Wertung.
 Zschr. Stomat. 30; 165 (1933)
13. Hellmüller R.M. Über die Ursache der Pulpenschädigungen
 unter Füllungen.
 Med. Inaug.-Diss. Düsseldorf 1954
14. Henning H. Pathol.-histologische Bilder von Zahnpul-
 pen nach Zementfüllungen.
 Med. Inaug.-Diss. Greifswald 1954
15. Heuser F. Das Verhalten des Zahnbeins unter Füllun-
 gen.
 Vjschr. f. Zahnhlk. 49; 283 (1933)
16. Kellermann K. Natur der Zahnzemente.
 Lauven P. Dtsch. Zahnärztl. Zschr. 5; - (1950)
17. Ketterl W. Pulpenschutz unter Silikatzementfüllungen.
 Zahnärztl. Prax. 10; 2 (1959)
18. Ketterl.W. Die Silikatzementfüllung heute
 Zahnärztl. Prax. 157; 14 (1961)
19. Kleefeld E. Darstellung der Theorien über die Schäd-
 lichkeit der Zementfüllungen in menschi-
 chen Zähnen.
 Med. Inaug.-Diss. Greifswald 1951
20. v. Kreudenstein Dentinstoffwechselstudien.
 Spr., Stüben J. Dtsch. Zahnärztl. Zschr. 10; 949 (1955)
 Dtsch. Zahnärztl. Zschr. 10; 1178 (1955)

21. Linka J. Silikatfüllungen und Pulpa.
Dtsch. Zahnärztl. Wschr. 40; 272 (1937)
22. Masur A. Untersuchungen über Silikatzemente, ihre
schädliche Wirkung auf die Zahnpulpa und
geeigneten Pulpaschutz.
Zahnärztl. Rdsch. 34; 313 (1925)
23. Palazzi S. Über die anatomischen Veränderungen der
Zahnpulpa im Gefolge von Silikatzement-
füllungen.
Zschr. Stomat. 20; 346 (1922)
Zschr. Stomat. 21; 279 (1923)
24. Port Einiges über Zemente.
Dtsch. Zahnärztl. Wschr. 13; 104 (1910)
25. Preisseecker O. Zur Theorie und Praxis der Silikatfüllung.
Zschr. Stomat. 35; 1155 (1937)
26. Proell F. Experimentelle Untersuchungen über die
Ursache des Pulpentodes unter Silikat-
zementen nebst theoretischen und prak-
tischen Studien über Zemente und andere
Füllmaterialien.
Dtsch. Mschr. Zahnhlk. 31; 81 (1913)
27. Rebel H.H. Untersuchungen über die Einwirkung der
Zink- und Aluminiumphosphatzemente auf
Zahnbein und Pulpa.
Dtsch. Mschr. Zahnhlk. 41; 298 (1923)
28. Rebel H.H. Konservierende Zahnheilkunde.
München 1947
29. Reich H. Elektrometrische Messungen des Säuregra-
des abgebundener Zemente, insbesondere
Silikatzemente.
Med. Inaug.-Diss. Tübingen 1951

30. Reißner A. Zur Kritik der Ascherfüllung.
Dtsch. Zahnärztl. Wschr. 9; 709 (1906)
31. Richter R. Weitere Erfahrungen und Versuche mit
Silikatzementen.
Dtsch. Mschr. Zahnhlk. 28; 420 (1910)
32. Rinne K.H. Untersuchungen über freie Säure bei
Silikatzementen und über geeignete
Pulpenschutzmittel.
Med. Inaug.-Diss. Berlin 1953
33. Sachs W. Silikatzemente.
Dtsch. Mschr. Zahnhlk. 25; 171 (1907)
34. Schubert L. Über die Frage des Pulpenschutzes auf
Grund tierexperimenteller Ergebnisse
und klinischer Betrachtung.
Dtsch. Zahnärztl. Zschr. 6; 44 (1951)
35. Silbermann E. Silikatzemente.
Dtsch. Zahnärztl. Wschr. 9; 692 (1906)
36. Vogelsang Die Reaktion der Pulpa auf plötzlichen
Schmelzmangel.
Dtsch. Mschr. Zahnhlk. 40; 346 (1922)
37. Wustrow P. Über den Schutz der Pulpen unter Sili-
katzementfüllungen.
Zahnärztl. Rdsch. 30; 429 (1921)
38. Wustrow P. Pulpenschutz unter Zementen.
Dtsch. Zahnärztl. Wschr. 25; 65 (1922)

Zum Schluß dieser Arbeit ist es mir eine angenehme Pflicht,
Herrn Priv.-Doz. Dr. Dr. P. Riethe für die Anregung zu die-
sem Thema und für seine freundliche Unterstützung herzlich
zu danken.

LEBENS LAUF

Ich wurde am 20.9.1936 in Hostenbach-Saar als Sohn des Rektors Franz Weis und seiner Ehefrau Toni, geb. Liell geboren. Vom 6. Lebensjahr an besuchte ich bis 1947 die kath. Volksschule in Hostenbach, danach das humanistische Gymnasium in Saarlouis. Dort legte ich im Jahre 1956 die Reifeprüfung ab. Ab Sommersemester 1956 studierte ich Zahnmedizin an der Universität Würzburg, wo ich nach 5 Semestern die zahnärztliche Vorprüfung bestand. Seit Wintersemester 1958 studierte ich an der Universität Mainz und bestand im August 1961 das zahnmedizinische Staatsexamen.

Walter Weis

